

УДК 622.243.23

МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ РОЗМІРІВ ДВОЦЕНТРАТОРНИХ НЕОРІЄНТОВАНИХ КОМПОНОВОК НИЗУ БУРИЛЬНОЇ КОЛОНИ

*І.В.Воєвідко, Р.І.Воєвідко**ІФНТУНГ, 76019, Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42264,
e-mail: math@n i n g . e d u . u a*

Проведено короткий аналіз методів розрахунку неорієнтованих компоновок низу бурильної колони. Розглянуто варіанти взаємодії центраторів компоновок із стінкою стовбура свердловини. Наведено схеми реального розташування різних типів двоцентраторних неорієнтованих компоновок в стовбурі свердловини і розглянуто основні етапи їх розрахунку з врахуванням уточнених відстаней між точками опори, а також геометричних, вагових і жорсткісних параметрів центраторів.

Дан краткий анализ основных методов расчёта размеров неориентированных компоновок низа бурильной колонны. Рассмотрены варианты взаимодействия центраторов компоновок со стенкой ствола скважины. Представлены схемы реального расположения различных типов двоцентрированных неориентированных компоновок в стволе скважины и рассмотрены основные этапы их расчёта с учетом уточненных расстояний между их точками опоры, а также геометрических, весовых и жесткостных параметров центраторов.

The short analysis of main methods for calculation the sizes of drilling string assemblies has been done. The variants of centralizers interaction of drilling string assemblies with a wall of hole have been reviewed. The schemes of real disposition of different types of drilling string assemblies in the well hole have been reviewed. The main steps of its calculation with a help of distances between their points of support and also geometrical, heavy parameters of centralizers have been considered.

Основною проблемою похило-спрямованого буріння є реалізація проектного профілю свердловини. Ділянки свердловини з похилим прямолінійним стовбуром, а також ділянки з низькою інтенсивністю зміни зенітного кута, як правило, бурять з допомогою неорієнтованих компоновок низу бурильної колони (КНБК), які в останні роки знайшли надзвичайно широке застосування [1,2,3].

Один із способів дослідження КНБК, в тому числі і неорієнтованих, – це теоретичний спосіб, який базується на вивченні аналітичної моделі компоновки. Такий спосіб є найбільш універсальний і дає можливість отримати розв'язок декількома методами дослідження задачі поперечно-повздовжнього прогину низу бурильної колони.

Перший метод базується на балонній моделі [4,5,6]. В його основу покладено принцип рівності кутів повороту пружної лінії осі КНБК зліва і справа на i -ій опорі.

Зазначений метод не дає змоги розробити універсальну схему, з допомогою якої можна було б розрахувати довільну КНБК як для роторного способу буріння, так і для буріння із застосуванням гідравлічних вибійних двигунів. Другим недоліком вказаного методу є те, що опорно-центрувальні елементи (ОЦЕ) компоновки розглядаються як точка опори. Оскільки ОЦЕ мають свої геометричні параметри і жорсткіші характеристики, то такий підхід вносить певні похибки в процес розрахунку КНБК.

Другий метод базується на застосуванні рівняння трьох моментів (одного з способів розв'язання статично невизначених задач). Суть цього методу полягає в тому, що сума фі-

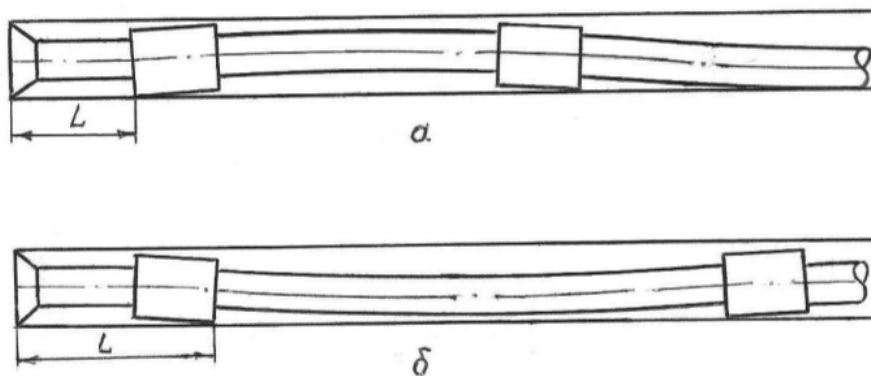
зичесних реакцій на кожній проміжній опорі повинна бути рівною нулю. Складаючи рівняння для кожної пари прогинів n -опорної балки (в кожному випадку опорами служать ОЦЕ), отримують $n-2$ рівняння та дві умови на долоті і в точці дотику КНБК з нижньою стінкою свердловини. Розв'язуючи рівняння знаходять величини опорних моментів, а також поперечні реакції на долоті і центраторах [7].

Слід зазначити, що під час розв'язання рівнянь трьох моментів виникає необхідність в аналітичних спрощеннях, при цьому ОЦЕ також розглядаються як точкові опори, що, в комплексі, значно понижує рівень достовірності отриманих результатів.

Третій метод ґрунтується на розв'язанні диференціального рівняння вигнутої осі компоновки в похилій свердловині [8,9]. Цей метод передбачає можливість розроблення універсальної схеми розташування КНБК в стовбурі свердловини і дає змогу проводити її розрахунок з довільною кількістю ОЦЕ, однак при цьому також розглядаються центруючі пристрої як точкові опори, що є його основним недоліком.

Таким чином, критичний аналіз існуючих розрахункових схем свідчить, що практично всі вони розглядають опорно-центрувальні елементи КНБК, як точкові опори, не дивлячись на те, що в реальних умовах буріння довжина центрувальних пристроїв складає 1,5-2,5 діаметра долота.

В даній статті відображено методику розрахунку двоцентраторних КНБК на основі геометричної моделі їх реального розташування в стовбурі свердловини із врахуванням геометрії, жорсткості і ваги ОЦЕ.



*а – при незначній відстані між центраторами;
б – при істотно більшій відстані між центраторами*

Рисунок 1 — Схеми розташування компоновок низу бурильної колони в стовбурі свердловини

Як відомо, в похилій свердловині під дією осьових стискуючих сил, поперечних складових сил власної ваги і відповідних їм згинаючих моментів вісь КНБК деформується і набуває форми, близької до синусоїди. Центратори такої КНБК, які є її складовими елементами, також будуть повертатись в стовбурі свердловини в залежності від напрямку прогину секцій компоновки.

Взаємодія ОЦЕ із стінкою стовбура свердловини може відбуватись як по всій його робочій довжині за відсутності повороту компоновки в місці його розташування, так і по одній із периферійних ділянок його опорної поверхні у відповідності з напрямом повороту КНБК. При певному співвідношенні діаметра свердловини, геометричних параметрів центратора і його кута повороту можлива одночасна взаємодія двох його крайніх ділянок опорної поверхні з верхньою і нижньою стінками свердловини. В цьому випадку слід констатувати утворення рухомого защемлення ОЦЕ в стовбурі свердловини.

На рис. 1 схематично зображено взаємодію наддолотного ОЦЕ з стінкою стовбура свердловини при різних відстанях між центраторами. В даному випадку відстані між торцем долота і точкою контакту центраторів відрізняються на довжину робочої поверхні ОЦЕ, що, безсумнівно, впливає на розрахункову величину відхиляючої сили на долоті. Окрім цього, з рис. 1а видно, що центратори є складовими частинами другої секції КНБК (між точками опори ОЦЕ), а з рис. 1б очевидно, що перший від долота центратор входить в склад першої секції компоновки, а другий – верхньої ділянки КНБК. Безумовно, такий розподіл опорних елементів компоновки за її секціями також вносить певні корективи в формування відхиляючої сили на долоті.

На базі вищезазначеної геометричної моделі реального розташування КНБК в стовбурі свердловини запропоновано нову методику розрахунку неорієнтованих КНБК, яка передбачає його проведення в два етапи.

На першому етапі КНБК розраховується за загальноприйнятою методикою [10], в якій

ОЦЕ розглядаються як точкові опори, а сам метод розрахунку базується на розв'язанні диференціального рівняння пружної осі КНБК.

На другому етапі, з врахуванням напрямку повороту КНБК в місці розташування центратора, складається розрахункова схема реального розташування КНБК в стовбурі свердловини, в якій центратор фігурує як окрема складова ділянка компоновки із своїм діаметром і довжиною, масою і жорсткістю. У відповідності з напрямком повороту ОЦЕ виставляються реакції нижньої стінки стовбура свердловини по краях їх робочих поверхонь, а також перевіряється наявність рухомого защемлення.

Запропонована методика розрахунку двоцентраторних неорієнтованих КНБК було розроблено таким чином, що охоплювала весь ряд можливих варіантів.

На рис. 2а зображено розрахункову схему двоцентраторної КНБК з точковими ОЦЕ.

На першому етапі розрахунку складаються диференціальні рівняння пружних осей трьох ділянок. Розв'язавши рівняння, отримаємо функції для визначення прогинів, кутів повороту, а також згинаючих моментів зазначених ділянок.

Граничні умови на кінцях і в точках спряження ділянок КНБК будуть мати наступний вигляд:

$$\begin{aligned} &\text{при } x_1 = 0 \quad y_1 = 0; \\ &\text{при } x_1 = l_1 \text{ і } x_2 = 0 \\ &\quad v_1(l_1) = r_1, \quad y_2(0) = r_1, \quad y'_1(l_1) = y'_2(0); \\ &\text{при } x_2 = l_2 \text{ і } x_3 = 0 \\ &\quad y_2(l_2) = r_2, \quad y_3(0) = r_2, \quad y'_2(l_2) = y'_3(0); \\ &\text{при } x_3 = l_3 \quad y_3(l_3) = r_3, \quad y'_3(l_3) = 0. \end{aligned}$$

На основі граничних умов складається система рівнянь, після розв'язку якої отримаємо значення відхиляючої сили на долоті F , величини реакції на ОЦЕ R_1 і R_2 , довжини верхньої ділянки l_3 , а також сталі інтегрування. Визначаються значення і напрямки кутів повороту долота і ОЦЕ, а також величини згинаючих моментів на зазначених centruючих елементах.

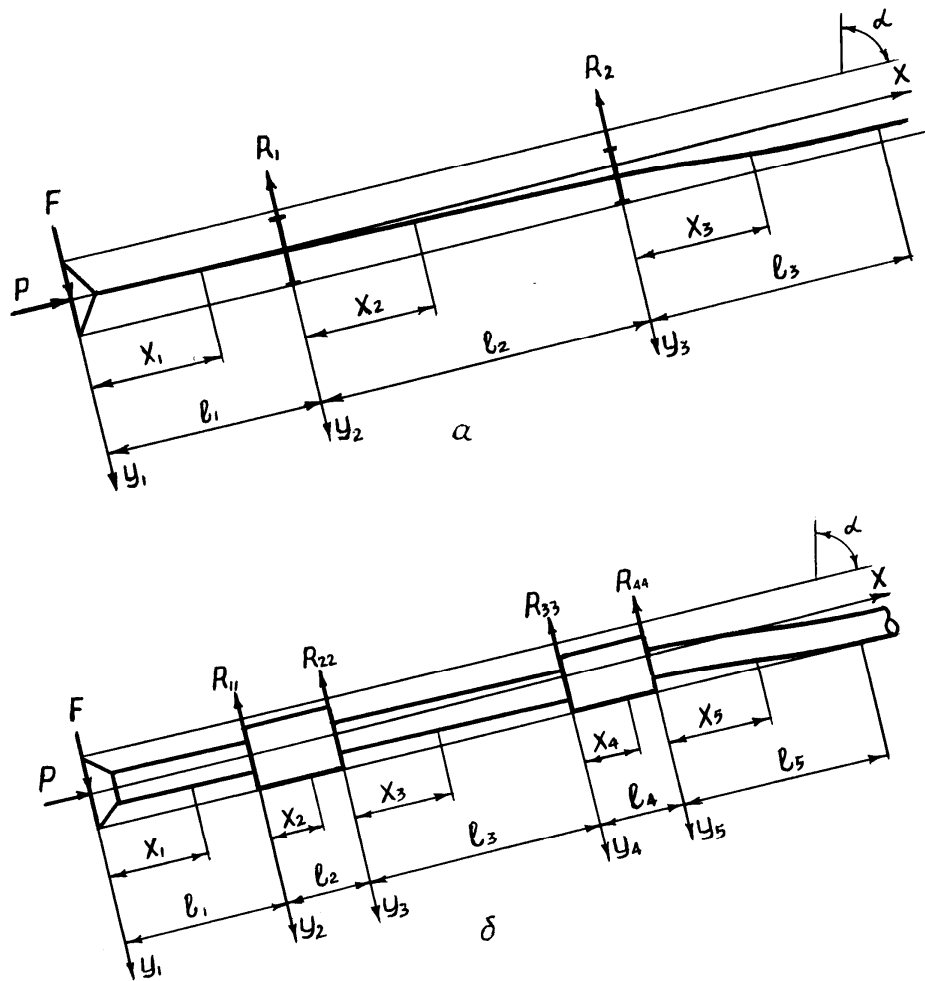


Рисунок 2 — Розрахункові схеми двоцентраторної КНБК для першого (а) та другого (б) етапів її розрахунку

Маючи напрямки повороту центрувальних пристроїв є можливість уточнити схему розташування КНБК в стовбурі свердловини (рис. 2,б), тобто перейти до такої схеми, яка засвідчує її реальне розташування. В даному випадку поворот ОЦЕ за годинниковою стрілкою вважається додатнім, а проти годинникової — від'ємним. В першому випадку центратор контактує із стінкою стовбура свердловини своєю крайньою правою ділянкою опорної поверхні, а в другому випадку — навпаки, з крайньою лівою.

У відповідності із схемою реального розташування КНБК в стовбурі свердловини складаються диференціальні рівняння для п'яти ділянок компоновки.

В таблиці 1 наведено варіанти граничних умов на кінцях і в точках спряження елементів двоцентраторної КНБК у відповідності з напрямком повороту ОЦЕ.

За напрямками нахилу ОЦЕ формуються конкретні граничні умови, які відображають реальний варіант розташування КНБК в стовбурі свердловини.

За допомогою граничних умов складається система рівнянь, яка також відповідає реальному варіанту розташування в стовбурі свердло-

вини ОЦЕ та компоновки загалом. Після розв'язання системи рівнянь отримуємо уточнені значення відхиляючої сили на долоті F , величин реакцій $R_{11}(R_{22})$ і $R_{33}(R_{44})$, довжини верхньої ділянки l_5 . Окрім цього, розраховуються кінцеві значення кутів повороту КНБК в місцях розташування долота і ОЦЕ, а також величини згинаючих моментів на зазначених елементах компоновки.

В практиці буріння часто застосовуються такі конструктивні варіанти компоновок, в яких секція між двома ОЦЕ складається з двох елементів з різними геометричними та ваговими параметрами і жорсткісними характеристиками, тому методикою повинен бути передбачений розрахунок і такого типу КНБК.

На рис. 3,а,б зображено розрахункові схеми для вищезазначеної КНБК з двома центраторами. Із рисунків видно, що такі елементи компоновки необхідно брати до уваги як окремі ділянки КНБК з окремою координатною системою і відповідним розрахунком прогинів, згинаючих моментів і кутів повороту.

Послідовність розрахунку такого типу компоновок не відрізняється від попереднього з тією різницею, що в даному випадку фігурує ще одна розрахункова ділянка.

Таблиця 1 – Формування граничних умов на кінцях і в точках спряження елементів двоцентраторної КНБК за різних варіантів розташування ОЦЕ в стовбурі свердловини

Місце розташування перерізу КНБК	Граничні умови		
	універсальні, незалежні від напрямку повороту ОЦЕ	при повороті ОЦЕ за годинниковою стрілкою, (+)	при повороті ОЦЕ проти годинникової стрілки, (-)
$x_1 = 0$	$y_1(0) = 0$	-	-
$x_1 = l_1, x_2 = 0$	$y_1'(l_1) = y_2'(0)$	$y_1(l_1) = y_2(0)$	$y_1(l_1) = r_1, y_2(0) = r_1$
$x_2 = l_2, x_3 = 0$	$y_2'(l_2) = y_3'(0)$	$y_2(l_2) = r_1, y_3(l_3) = r_1$	$y_2(l_2) = y_3(0)$
$x_3 = l_3, x_4 = 0$	$y_3'(l_3) = y_4'(0)$	$y_3(l_3) = y_4(0)$	$y_3(l_3) = r_2, y_4(0) = r_2$
$x_4 = l_4, x_5 = 0$	$y_4'(l_4) = y_5'(0)$	$y_4(l_4) = r_2, y_5(0) = r_2$	$y_4(l_4) = y_5(0)$
$x_5 = l_5$	$y_5(l_5) = r_3, y_5'(l_5) = 0, y_5''(l_5) = 0$	-	-

Таблиця 2 – Формування граничних умов на кінцях і в точках спряження складових двоцентраторної КНБК із елементами з різними геометричними та жорсткісними параметрами на ділянці між ОЦЕ

Місце розташування перерізу КНБК	Граничні умови		
	універсальні, незалежні від напрямку повороту ОЦЕ	при повороті ОЦЕ за годинниковою стрілкою, (+)	при повороті ОЦЕ проти годинникової стрілки, (-)
$x_1 = 0$	$y_1(0) = 0$	-	-
$x_1 = l_1, x_2 = 0$	$y_1'(l_1) = y_2'(0)$	$y_1(l_1) = y_2(0)$	$y_1(l_1) = r_1, y_2(0) = r_1$
$x_2 = l_2, x_3 = 0$	$y_2'(l_2) = y_3'(0)$	$y_2(l_2) = r_1, y_3(0) = r_1$	$y_2(l_2) = y_3(0)$
$x_3 = l_3, x_4 = 0$	$y_3'(l_3) = y_4'(0), y_3(l_3) = y_4(0)$	-	-
$x_4 = l_4, x_5 = 0$	$y_4'(l_4) = y_5'(0)$	$y_4(l_4) = y_5(0)$	$y_4(l_4) = r_2, y_5(0) = r_2$
$x_5 = l_5, x_6 = 0$	$y_5'(l_5) = y_6'(0)$	$y_5(l_5) = r_2, y_6(0) = r_2$	$y_5(l_5) = y_6(0)$
$x_6 = l_6$	$y_6(l_6) = r_3, y_6'(l_6) = 0, y_6''(l_6) = 0$	-	-

Для розв'язання системи рівнянь на першому етапі розрахунку КНБК використовують граничні умови в наступному вигляді:

при $x_1 = 0$ $y_1 = 0$;

при $x_1 = l_1$ і $x_2 = 0$

$$y_1(l_1) = r_1, y_2(0) = r_1, y_1'(l_1) = y_2'(0);$$

при $x_2 = l_2$ і $x_3 = 0$

$$y_2(l_2) = y_3(0), y_2'(l_2) = y_3'(0);$$

при $x_3 = l_3$ і $x_4 = 0$

$$y_3(l_3) = r_2, y_4(0) = r_2, y_3'(l_3) = y_4'(0);$$

при $x_4 = l_4$

$$y_4(l_4) = r_3, y_4'(l_4) = 0, y_4''(l_4) = 0.$$

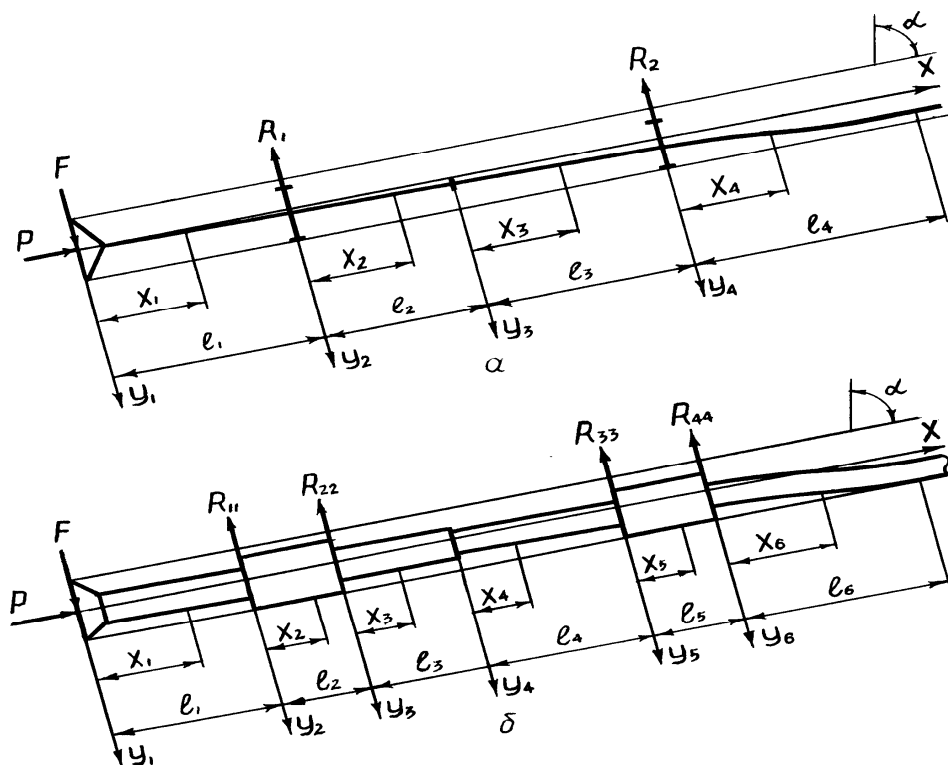


Рисунок 3 — Розрахункова схема двоцентраторної КНБК із елементами з різними геометричним та жорсткісним параметрами на ділянці між ОЦЕ для першого (а) та другого (б) етапів її розрахунку

Можливі варіанти граничних умов на кінцях і в точках спряження елементів у відповідності з напрямком повороту центрвальних пристроїв, які використовуються на другому етапі розрахунку КНБК, наведено в таблиці 2.

Таким чином, на основі розрахункової схеми реального розташування різних типів двоцентраторних КНБК в стовбурі свердловини, розроблено удосконалену методику розрахунку неорієнтованих компоновок, яка оперує оточеними відстанями між її точками опори, а також геометричними, ваговими і жорсткісними параметрами центраторів.

Література

- 1 Воевідко І.В. Вибір критеріїв оптимізації та розрахунок трицентраторних неорієнтованих вибійних компоновок / І.В. Воевідко // Науковий вісник ІФНТУНГ. — 2003. — №2(6). — С. 5-8.
- 2 Бурение наклонных и горизонтальных скважин / А.Г.Калинин, Б.А.Никитин, К.М.Солодкий, Б.З.Султанов. — М.: Недра, 1997. — 648 с.
- 3 Гасанов И.З. Расчёт неориентированной компоновки низа буровой колонны с большим количеством опорных элементов / И.З. Гасанов, Г.С. Оганов // Изв. вузов. Нефть и газ. — 1988. — №2. — С. 22-26.
- 4 Гулизаде М.П. Метод расчёта центратора для набора и стабилизации угла искривления при бурении турбобуром / М.П. Гулизаде, Л.Я. Кауфман // Изв. вузов. Нефть и газ. — 1970. — № 2. — С. 35-38.

5 Гулизаде М.П. К расчёту компоновки низа буровой колонны, применяемой для безориентированного управления зенитным углом / М.П. Гулизаде, Л.Я. Сушон, П.В. Емельянов // Нефтяное хозяйство. — 1974. — №1. — С. 13-16.

6 Сушон Л.Я. Управление искривлением наклонных скважин в Западной Сибири / Л.Я.Сушон, П.В.Емельянов, Р.Т.Муллагалиев. — М.: Недра, 1988. — 125 с.

7 Расчёт отклоняющей силы на долоте системы с тремя центраторами в наклонном участке скважины / Г.А. Ситдыков, М.М. Юкусов, Л.М. Левинсон, Р.М. Нургалеев // Труды УфНИИ. — 1972. — Вып. 11. — С. 17-20.

8 Ишемгузин Е.И. К расчёту низа буровой колонны / Е.И. Ишемгузин, Б.З. Султанов // Нефтяное хозяйство. — 1970. — №7. — С. 11-16.

9 Метод оптимизации параметров компоновок для стабилизации зенитного угла наклонных скважин / А.Ф. Фёдоров, К.М. Солодкий, А.Г. Калинин, А.С. Повалихин // Нефтяное хозяйство. — 1982. — №11. — С. 11-12.

10 Воевідко І.В. Розробка теоретичних основ і технічних засобів для підвищення точності проведення спрямованих свердловин: дис... доктора техн. наук: 05.15.10 / Воевідко Ігор Володимирович. — Івано-Франківськ, 2007. — 410 с.

Стаття поступила в редакційну колегію
03.02.09

Рекомендована до друку професором
Мойсишиним В.М.